

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **06-011750**

(43)Date of publication of application : **21.01.1994**

(51)Int.Cl.

G02F 1/37

G11B 7/125

G11B 7/135

H01S 3/108

H01S 3/18

(21)Application number : **04-349036**

(71)Applicant : **PHILIPS ELECTRON NV**

(22)Date of filing : **28.12.1992**

(72)Inventor : **LIEDENBAUM COEN T H F
SEVERENS ARNOLDUS L G J
DRENTEN RONALD R
JONGERIUS MICHELI J**

(30)Priority

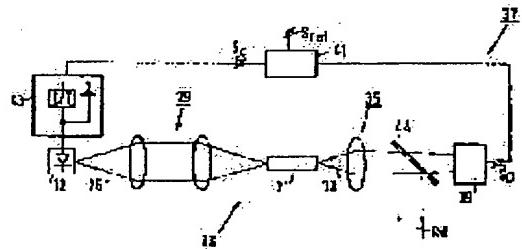
Priority number : **91 91203426** Priority date : **30.12.1991** Priority country : **EP**
92 92203740 **03.12.1992** **EP**

(54) OPTICAL DEVICE AND OPTICAL SCANNER

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain the optical device which greatly reduces the influence of temperature variation and can greatly increase the quantity of frequency- multiplied radiation.

CONSTITUTION: The optical device is equipped with a diode laser 12 and a nonlinear optical medium 31 so as to increase the frequency of electromagnetic radiation, and the nonlinear optical medium 31 increases the frequency of radiation from the diode laser 12. The diode laser 12 is a pulse diode and a feedback means 37 is arranged which sets the radiation from the diode laser 12 to wavelength within the permissible band of the optical medium 31. This feedback means 37 can be composed of a photoelectric or optical means. Further, a device is shown which is equipped with the optical device as a radiation source unit and optically scans an information surface.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] **27.12.1999**

[Date of sending the examiner's decision of rejection] **12.11.2002**

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-02156

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 10.02.2003

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-11750

(43)公開日 平成6年(1994)1月21日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	府内整理番号
G 0 2 F 1/37		8106-2K
G 1 1 B 7/125		B 8947-5D
	7/135	Z 8947-5D
H 0 1 S 3/108		8934-4M
	3/18	

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数36(全 18 頁)

(21)出願番号	特願平4-349036
(22)出願日	平成4年(1992)12月28日
(31)優先権主張番号	9 1 2 0 3 4 2 6 : 1
(32)優先日	1991年12月30日
(33)優先権主張国	オランダ (NL)
(31)優先権主張番号	9 2 2 0 3 7 4 0 : 3
(32)優先日	1992年12月3日
(33)優先権主張国	オランダ (NL)

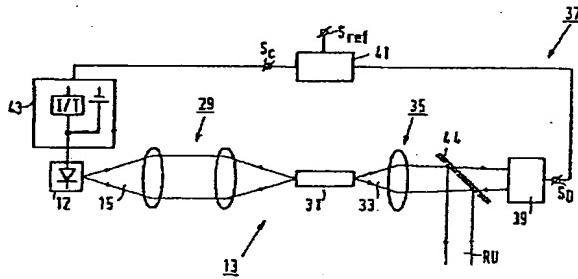
(71)出願人 592098322
フィリップス エレクトロニクス ネムロ
ーゼ フェンノートシャップ
PHILIPS ELECTRONICS
NEAMLOZE VENNOOTSH
AP
オランダ国 5621 ベーーー アイント
フェン フルーネヴァウツウェッハ 1
(72)発明者 クン テオドルス フベルタス フランシ
スカス リーデンバウム
オランダ国 5621 ベーーー アイント
フェンフルーネヴァウツウェッハ 1
(74)代理人 弁理士 杉村 晓秀 (外5名)
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学装置及び光学式走査装置

(57)【要約】

【目的】 温度変化による影響が大幅に減少し、周波数倍増された放射の量を大幅に増大させることができる光学装置を提供する。

【構成】 電磁放射の周波数を倍増させるため、光学装置(2)はダイオードレーザ(12)及び非線形光学媒体(31)を具え、非線形光学媒体(31)によりダイオードレーザ(12)から放出された放射の周波数を倍増させる。ダイオードレーザ(12)はパルスダイオードレーザであり、ダイオードレーザから放出された放射を非線形光学媒体(31)の許容帯域内の波長に設定するフィードバック手段(37)を配置する。このフィードバック手段は光電式又は光学式手段で構成することができる。さらに、放射源ユニットとして上述した光学装置を具える情報面を光学的に走査する装置についても開示する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 周波数増倍されるべき放射を供給するダイオードレーザと、許容帯域を有し周波数を増大させる非線形光学媒体とを具え、電磁放射を周波数増大させる光学装置において、前記ダイオードレーザをパルスダイオードレーザとし、前記ダイオードレーザから発生した放射を前記非線形光学媒体の許容帯域内に設定するフィードバック手段を設けたことを特徴とする光学装置。

【請求項2】 請求項1に記載の光学装置において、前記フィードバック手段を、周波数増大した放射に対して感応する検出器と、この検出器によって制御され周波数増大した放射の量を決定する少なくとも1個のパラメータを制御する制御ユニットとを具えるアクティブ制御系によって構成したことを特徴とする光学装置。

【請求項3】 請求項2に記載の光学装置において、前記パラメータを前記ダイオードレーザを流れる電流としたことを特徴とする光学装置。

【請求項4】 請求項2に記載の光学装置において、前記パラメータを前記ダイオードレーザの温度としたことを特徴とする光学装置。

【請求項5】 請求項1に記載の光学装置において、前記フィードバック手段を波長選択性フィードバック手段で構成したことを特徴とする光学装置。

【請求項6】 請求項5に記載の光学装置において、前記波長選択性フィードバック手段が、前記ダイオードレーザから距離dで配置した少なくとも部分的に反射性のフィードバック素子を有し、Pを放射されたレーザパルスのパルス期間とし、nを整数とし、cを放射ビームの媒質中における光速とし、ΔPをダイオードレーザにおけるビルドアップ時間とし、εを $0 < \varepsilon < 1$ を満足する実数であって、この範囲において前記フィードバック素子によって反射した放射の増大又は減少するエネルギーE(P₁)においてそれぞれ増大又は減少するものとした場合に、前記距離dが、条件

【数1】

$$d = \frac{c}{2} \cdot n T - \frac{c}{2} \cdot \varepsilon (P + \Delta P)$$

を満足し、E(P₁)を関連する瞬時においてダイオードレーザに生起する放射エネルギーとした場合に、前記放射パルスがダイオードレーザに入射する瞬時において条件 E(P₁) > E(LP₁) を満足するように構成したことを特徴とする光学装置。

【請求項7】 請求項5又は6に記載の光学装置において、前記波長選択性フィードバック手段が回折格子を有することを特徴とする光学装置。

【請求項8】 請求項7に記載の光学装置において、前記回折格子をホログラム格子としたことを特徴とする光学装置。

【請求項9】 請求項7に記載の光学装置において、前

記回折格子が、前記非線形光学媒体の後段に位置する光ファイバ中に位置する平面回折格子としたことを特徴とする光学装置。

【請求項10】 請求項7に記載の光学装置において、前記回折格子を、前記非線形光学媒体中に位置する平面回折格子としたことを特徴とする光学装置。

【請求項11】 請求項6に記載の光学装置において、前記波長選択性フィードバック手段を、波長選択性及び部分的反射性の両方を有する1個の素子で構成したことを特徴とする光学装置。

【請求項12】 請求項11に記載の光学装置において、前記素子をエタロンとしたことを特徴とする光学装置。

【請求項13】 請求項11に記載の光学装置において、前記素子を半反射性の回折格子としたことを特徴とする光学装置。

【請求項14】 請求項1, 5, 6, 7, 8, 11又は12に記載の光学装置において、前記ダイオードレーザとフィードバック手段との間に放射光路を折り曲げる光路折曲手段を配置したことを特徴とする光学装置。

【請求項15】 請求項14に記載の光学装置において、前記光路折り曲げ手段が、光学的に透明な材料から成り少なくとも2個の反射面を有すると共に入射窓及び出射窓が形成されている光路折曲体を有し、前記反射面のうちの一方の反射面に前記ダイオードレーザからの放射を前記フィードバック手段に入射させると共にフィードバック手段からの放射を通過させる第3の窓を形成したことを特徴とする光学装置。

【請求項16】 請求項14又は15に記載の光学装置において、前記フィードバック手段を前記第3の窓に一體的に形成したことを特徴とする光学装置。

【請求項17】 請求項15又は16に記載の光学装置において、前記反射面の各々に高反射係数を有する層を形成したことを特徴とする光学装置。

【請求項18】 請求項17に記載の光学装置において、前記高反射係数を有する層が、前記ダイオードレーザから供給される放射に対して一層高い反射係数を有し周波数増大された放射に対して一層低い反射係数を有することを特徴とする光学装置。

【請求項19】 請求項15, 16, 17又は18に記載の光学装置において、前記光路折曲体を、前記第1の反射面と第2の反射面とが互いに対向すると共に互いに平行に位置する平行平面板としたことを特徴とする光学装置。

【請求項20】 請求項15又は16に記載の光学装置において、前記光路折曲体が、その屈折率よりも低い屈折率を有する媒質中に位置し、この光路折曲体が入射した放射を内部全反射させる少なくとも2個の面を有し、前記放射が、前記光路折曲体の共面光路を伝播する場合前記2個の面の各面で少なくとも1回反射することを特

徴とする光学装置。

【請求項21】 請求項15、16、17、18、19又は20に記載の光学装置において、前記入射窓及び出射窓に光学プリズムを配置し、この光学プリズムの放射ビームが入射し及び出射する面が、前記放射ビームの主光線と直交することを特徴とする光学装置。

【請求項22】 請求項15、16、17、18、19、20又は21に記載の光学装置において、前記反射面のうちの一方の面に第4の窓を形成し、この第4の窓にレトロ方向性素子を配置し、このレトロ方向性素子により前記放射を、多数回の反射を経て前記反射面まで延在する第1の光路を伝播した後、前記光路折曲体の第1の面に入射させると共に平行に反射させ、前記光路折曲体に再入射させて、前記第1の面に平行な面における多数回反射を経て少なくとも前記反射面まで延在する第2の放射光路を伝播させるように構成したことを特徴とする光学装置。

【請求項23】 前記フィードバック手段が回折格子を具える請求項15から22までのいずれか1項に記載の光学装置において、前記回折格子が、前記第3の窓に対して 0° ではない微小角を以て延在することを特徴とする光学装置。

【請求項24】 請求項16から23までのいずれか1項に記載の光学装置において、前記ダイオードレーザに向けて反射した放射の波長を変えるため、前記光路折曲体を、前記ダイオードレーザから放射された放射ビームに対して微小角に亘って回転可能に配置したことを特徴とする光学装置。

【請求項25】 請求項5から24までのいずれか1項に記載の光学装置において、前記波長選択性フィードバック手段が、周波数増大した放射に対して感応性を有する検出器と、この検出器の出力信号によって制御され波長増大した放射の量を決定する少なくとも1個のパラメータを制御する制御ユニットとを具えるアクティブ制御系によって構成したことを特徴とする光学装置。

【請求項26】 請求項25に記載の光学装置において、前記パラメータを前記ダイオードレーザを流れる電流とし、前記制御ユニットが前記電流を制御することを特徴とする光学装置。

【請求項27】 請求項25に記載の光学装置において、前記パラメータをダイオードレーザの温度とし、前記制御ユニットが前記温度を制御することを特徴とする光学装置。

【請求項28】 請求項25に記載の光学装置において、前記パラメータを前記非線形光学媒体の温度とし、前記制御ユニットが前記温度を制御することを特徴とする光学装置。

【請求項29】 請求項25に記載の光学装置において、前記パラメータを前記非線形光学媒体の屈折率とし、前記制御ユニットが前記非線形光学媒体両端間の電

界の大きさを制御することを特徴とする光学装置。

【請求項30】 請求項1から29までのいずれか1項に記載の光学装置において、前記ダイオードレーザをセルフバルシングダイオードレーザとしたことを特徴とする光学装置。

【請求項31】 請求項1から30までのいずれか1項に記載の光学装置において、前記非線形光学媒体が、非線形光学材料から成る導波路を構成することを特徴とする光学装置。

【請求項32】 請求項1から30までのいずれか1項に記載の光学装置において、前記非線形光学媒体が非線形光学結晶を有することを特徴とする光学装置。

【請求項33】 請求項31に記載の光学装置において、前記導波路をKTP、LiNbO₃、又はLiTaO₃、のうちの1つの材料で構成したことを特徴とする光学装置。

【請求項34】 請求項32に記載の光学装置において、前記非線形光学結晶をKNbO₃、又はKLINbO₃としたことを特徴とする光学装置。

【請求項35】 放射源ユニットと、この放射源ユニットから放出された放射を情報面に走査スポットとして集束させる光学系と、情報面からの放射を電気信号に変換する放射感知検出系とを具える情報を光学的に走査する装置において、前記放射源ユニットを請求項1から34までのいずれか1項に記載の光学装置で構成したことを特徴とする光学式走査装置。

【請求項36】 放射源ユニットと、この放射源ユニットから放出されたビームの強度を書込むべき情報に応じて切り替える強度切換スイッチとを具える記録媒体の放射感知層に情報を書込む装置において、前記放射源ユニットを請求項3から34までのいずれか1項に記載の光学装置とし、前記強度スイッチを、ダイオードレーザバルスの繰返し周波数、前記ダイオードレーザに戻る放射バルスの光路長、前記ダイオードレーザに戻る放射バルスのエネルギー、前記非線形光学媒体の許容帯域のうちのいずれかのパラメータを設定する手段で構成したことを特徴とする情報書込装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、周波数増倍されるべき放射を供給するダイオードレーザと、許容帯域を有し周波数を増大させる非線形光学媒体とを具え、電磁放射を周波数増大させる光学装置に関するものである。本発明は、上述した光学装置を具える情報を光学的に走査する装置にも関するものである。許容帯域は、非線形光学媒体によって放射を有効に周波数増大させることができ公称波長を中心とする波長帯域を意味するものと理解されるべきである。走査は、例えば光記録媒体の情報面の書込中における走査及び読み取り中の走査の両方を意味するものと理解することができる。

【0002】

【従来の技術】冒頭部で述べた型式の光学装置は、1988年8月に発行された雑誌“エレクトロニクス”に記載された文献“ブルーライト レーザ アップス シーティー デンシティ (Blue-light laser ups CD density)”から既知である。この刊行物に記載されている装置はオーディオプログラムが記録されている光記録媒体から情報を読み出す装置に用いられている。周波数を増倍することにより、すなわち通常のダイオードレーザの波長を半分にすることによりこの放射によって形成される読み取りスポットの直径を半分にすることができる。この結果、周波数増倍を用いない場合に読み取られる情報細部の寸法の半分の寸法の情報細部を読み取ることができる。周波数増倍は、光記録媒体の情報密度を例えば4倍に増大することができる大きな利点がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】周波数増大の効率を改良するためには、許容帯域の広い非線形光学媒体を用いる必要がある。しかしながら、多くの非線形光学媒体は比較的狭い許容帯域を有しているため、このような光学装置においては比較的厳格な要件がダイオードレーザに課せられる。ダイオードレーザに課せられる多くの重要な要件は以下の通りである。

(1) ダイオードレーザから放出された放射の波長帯域を非線形光学媒体の許容帯域内に維持すること。この要件は、使用可能なダイオードレーザの出力を相当な範囲に亘って制限してしまう。

(2) ダイオードレーザは、非線形光学媒体の許容帯域内に常時位置する極めて安定な放出波長を有する必要がある。この要件は、ダイオードレーザの出力スペクトラムが変化してはならないことを意味する。

【0004】特に、後者の要件は、実用上適合させるためには困難になってしまう。この理由は、ダイオードレーザ及び非線形光学媒体が共に強い温度依存性を有しているため、ダイオードレーザ及び非線形光学媒体の両方を温度において極めて高精度に、例えば0.5°Cの範囲で安定化させる必要がある。

【0005】温度変化が生ずるとダイオードレーザの出力スペクトラムが変化し、ダイオードレーザから放出される放射の波長が変化してしまい、非線形光学媒体から周波数増倍された放射がほとんど放出されず、光学装置の効果が発揮されなくなってしまう。

【0006】本発明の目的は、冒頭部で述べた型式の光学装置において温度変化による影響が大幅に減少され、周波数増倍された放射の最小必要量がほぼ一定で得られると共に周波数増倍された放射の量を大幅に増大させることができることにある。

【0007】

【課題を解決するための手段並びに作用】本発明による光学装置には種々の実施例があり、これら実施例は、ダ

イオードレーザをパルスダイオードレーザとしダイオードレーザから放出された放射を非線形光学媒体の許容波長帯域内の波長に設定するフィードバック手段を設けた共通の構成を有している。

【0008】パルス状の放射を放出するダイオードレーザとフィードバック手段とを組み合せることにより、所望のダイオードレーザ波長における微小な変化又はノイズの影響を補正することができるので、周波数増大した放射を変化することなく得ることができます。

【0009】本発明による光学装置の第1の主要な実施例は、前記フィードバック手段を、周波数増大した放射に対して感応する検出器と、この検出器によって制御され周波数増大した放射の量を決定する少なくとも1個のパラメータを制御する制御ユニットとを具えるアクティブ制御系によって構成したことを特徴とする。この実施例は、パルスダイオードレーザがマルチモードレーザであり種々の波長の放射を放出することを利用する。少なくとも1個のモードが非線形光学媒体の許容帯域内にあるか又は同時に存在する2個のモードの平均波長が許容帯域内にある場合、ダイオードレーザは周波数増倍される。これらの場合、検出し得る周波数増大された放射が常時発生する。この検出に関して、周波数増大した放射の量はフィードバックを介して制御される。

【0010】パルスダイオードレーザを用いて周波数増大させることは、1979年9月に発行された刊行物“アプライド フィジクス レターズ (Applied Physics Letters)”に記載された文献“セコンド-ハーモニック ジェネレーション ウィズ $G_{a_{1-x} Al_x As}$ レーザ アンド $KNbO_3$ クリスタルズ (Second-harmonic generation with $G_{a_{1-x} Al_x As}$ laser and $KNbO_3$ crystals)”から既知である。

【0011】しかしながら、この文献では実験的なセットアップについて記載されており、この実験的なセットアップを用いてダイオードレーザと非線形光学媒体との組み合せにおける周波数増大の挙動に対する温度変化の制御が決定されている。パルスダイオードレーザを用いる。この理由は、パルスレーザは一層高いパワーの放射を発生できるからである。この文献には、パルスダイオードレーザから供給される種々の波長の放射を有効に利用できることについては何ら開示されていない。また、この文献では、ダイオードレーザ及び非線形光学媒体の両方がオープン中に配置されており、温度による影響が相当低減され実際に有用な装置について開示していない。

【0012】パルスダイオードレーザのパワーは多数のモード例えば10個のモードに亘って分布しているので、周波数増倍された放射のパワーは、時間的に連続的に放射するモノモードレーザを用いる装置が温度が極めて良好に安定している場合に放出する放射パワーよりも小さい。しかしながら、このパワー損失には限界があ

る。この理由は、既に述べたように、平均周波数が非線形光学媒体の許容帯域内にある2個のレーザモードの放射が周波数増倍されるからである。既に知られているように、パルスダイオードレーザのパルス当りのパワーは、モノモードダイオードレーザの連続パワーよりも相当高くすることができる。

【0013】本発明の第2の概念によれば、光電子フィードバックの代りに光学的なフィードバックを用いることにより、周波数増大された放射のパワーを相当増大させることができる。この概念に関連する光学装置の第2の主要な実施例は、前記フィードバック手段を波長選択性フィードバック手段で構成したことを特徴とする。波長が非線形光学媒体の許容帯域内にあるモードの放射の一部は、波長選択性フィードバック手段によりフィードバックされる。この結果、パルスダイオードレーザは、全ての放射が周波数増大されるのに好適なモノモードレーザとして作動する。第2の主要な実施例に採用した方法により、周波数増大した放射の量は、第1実施例によって得られる周波数増大した放射の量よりも相当増大する。ダイオードレーザ電流及びダイオードレーザ温度を変更するのではなく別の方法で单一モードを選択する利点もある。

【0014】第2の主要な実施例は、好ましくは波長選択性フィードバック手段が、前記ダイオードレーザから距離dで配置した少なくとも部分的に反射性のフィードバック素子を有し、Pを放射されたレーザパルスのパルス期間とし、nを整数とし、cを放射ビームの媒質中における光速とし、△Pをダイオードレーザにおけるビルドアップ時間とし、εを $0 < \epsilon < 1$ を満足する実数であって、この範囲において前記フィードバック素子によって反射した放射の増大又は減少するエネルギーE(P₁)においてそれぞれ増大又は減少するものとした場合に、前記距離dが、条件

【数2】

$$d = \frac{c}{2} \cdot n T - \frac{c}{2} \cdot \epsilon (P + \Delta P)$$

を満足し、E(LP₁)を関連する瞬時においてダイオードレーザに生起する放射エネルギーとした場合に、前記放射パルスがダイオードレーザに入射する瞬時において条件 E(P₁) > E(LP₁) を満足するよう構成したことを特徴とする。このように構成することにより、ダイオードレーザの動作は、この光学装置が用いられている装置の光学素子によるレーザ放射の反射による影響を回避することができる。

【0015】レーザビームの放射光路中の反射によってダイオードレーザの活性層に戻り再入射するレーザ光に対してダイオードレーザが感応することは、一般的に知られている。戻り放射の量に応じて、ライン幅の増大、ノイズの増大、又はレーザ波長のシフトつまり出力スペクトラムの変化のような不所望な効果が増大するおそれ

がある。パルスダイオードレーザの挙動は、新しい光パルスが発生する時間期間中にレーザ内において生ずる効果によって主に決定されること、並びに反射した放射パルスのエネルギー及びその遅延時間を適合させることによりこの時間期間中におけるフィードバックの結果としての十分に多数のエキストラフオトンの発生に起因してこれらエキストラフオトンがレーザの挙動を主に決定することが見い出されている。この結果、ダイオードレーザは意図的に配置したフィードバックにより規定された方法で制御することができ、他の不所望なフィードバックの影響は、配置したフィードバックの結果としてこの時間瞬時にダイオードレーザに入射する放射パルスの強度をダイオードレーザの挙動に影響を及ぼさない放射パルスの強度よりも低くすることにより低減させることができる。

【0016】フィードバック素子は、ダイオードレーザに対して非線形光学素子と同一の側に配置することができる。この場合、距離dは、フィードバック素子とダイオードレーザの出射面との間の距離とする。安定化させるため、ダイオードレーザの背面側から放出された放射を利用することもできる。この場合、距離dはダイオードレーザの背面とフィードバック素子との間の距離とする。光学装置の効率及び設計の自由度の観点において、ダイオードレーザの背面側からの放射を利用する構成が好適である。

【0017】本発明による光学装置の別の実施例は、波長選択性素子が回折格子を有することを特徴とする。回折格子は極めて好適な波長選択性素子である。

【0018】本発明による光学装置の別の実施例は、回折格子をホログラム格子としたことを特徴とする。

【0019】本発明による光学装置の別の実施例は、回折格子が、前記非線形光学媒体の後段に位置する光ファイバ中に位置する平面回折格子としたことを特徴とする。

【0020】本発明による光学装置の変形例は、回折格子を、前記非線形光学媒体中に位置する平面回折格子としたことを特徴とする。上記2個の実施例の利点は、回折格子が、光学装置から分離された素子ではなく、光学装置と関連する素子の一部を構成することにある。

【0021】波長選択性フィードバック手段がダイオードレーザから上述した距離に位置する入射光の一部を反射し残りを透過する素子（部分的反射性）を有する光学装置は、独立した反射素子と独立した波長選択性素子とを有することができる。一方、この光学装置は、波長選択性フィードバック手段が部分的反射性及び波長選択性の両方を有する1個の素子で構成したことを特徴とする。1個の素子において部分的反射性と波長選択性とを結合することにより、素子の数を少なくすることができ、従って空間を節約することができる。

【0022】本発明による光学装置の実施例は、さらに

上記1個の素子をエタロンとしたことを特徴とする。エタロンは、波長選択性反射を行なうための極めて好適な素子である。ここで、エタロンは、互いに所定の距離だけ離間して配置した2個の部分的に反射性の平坦又は湾曲した面を有する素子として理解されるべきである。これら2個の面間に空気のような媒体を存在させてもよい。或は、エタロンは所定の長さを有する導光性ファイバ又は光導波路とすることができる。

【0023】変形例として、上述した実施例は、素子を入射光の一部を反射し残りを透過させる部分的反射性の回折格子とすることを特徴とする。

【0024】本発明による光学装置の別の実施例は、ダイオードレーザとフィードバック手段との間に放射光路を折り曲げる光路折曲手段を配置したことを特徴とする。レーザビームを安定させるために必要なフィードバック素子とダイオードレーザとの間の距離dは、小さな空間内におさえられるので、光学装置を小型化することができる。光路折り曲げ手段は、例えば光ビームが伝播する光路を形成する2個の対向する反射面で構成することができる。

【0025】本発明による光学装置の好適実施例は、光路折り曲げ手段が、光学的に透明な材料から成り少なくとも2個の反射面を有すると共に入射窓及び出射窓が形成されている光路折曲体を有し、前記反射面のうちの一方の反射面に前記ダイオードレーザからの放射を前記フィードバック手段に入射させると共にフィードバック手段からの放射を通過させる第3の窓を形成したことを特徴とする。光路折曲げ手段は1個のものとして構成される光学本体で構成することが好ましい。この場合、公差は、2個の個別の対向面を有する場合のように2個の反射面の相対的位置決めではなく、光学本体の製造条件だけによって決定される。光路折曲体は、相対的に高い屈折率例えは $n = 1.8$ のガラスで構成することができる。この場合、幾何学的な光路長は、 $n = 1$ の空気の場合の幾何学的光路長に比べて1.8倍だけ短くできるので、光学装置を一層小さくすることができる。

【0026】入射窓及び出射窓は共に光路折り曲げ体の第1面に形成して互いに一致させることができる。この場合、ダイオードレーザからの放射と周波数増大した放射とは、周波数増大が行なわれる位置と光路折り曲げ体との間において互いに分離されることになる。この分離は例えばビームスプリッタのような波長選択性素子によって行なうことができ、周波数増大した放射を光学装置から出射させることができる。

【0027】変形例として、入射窓を第1の反射面に形成し出射窓を第2の反射面に形成することができる。この場合、周波数増大した放射を特別な素子を用いて光学装置から出射させる必要はなく、出射窓を部分的反射性の反射体として形成することができる。部分的透過性の反射体は、ダイオードレーザからの放射を反射し周波数

増大した放射を透過させる波長選択性の反射体とすることが好ましい。

【0028】本発明による光学装置は、フィードバック手段を第3の窓に一体的に形成することを特徴とする。このように構成することにより、素子の数を少なくすることができる。本発明による光学装置の実施例は、各反射面に高い反射係数を有する層を形成したことを特徴とする。高反射係数の層の存在により、折り曲げられた光路における強度損失を少なくすることができます。

【0029】光路折り曲げ体が周波数増大させる媒体の背後に位置する場合、この実施例は、前記高反射係数を有する層が、前記ダイオードレーザから供給される放射に対して一層高い反射係数を有し周波数増大された放射に対して一層低い反射係数を有することを特徴とする。

【0030】本発明による光学装置の実施例は、光路折曲体を、前記第1の反射面と第2の反射面とが互いに対向すると共に互いに平行に位置する平行平面板としたことを特徴とする。

【0031】光路折り曲げ体における高反射面を不要とした本発明による光学装置の変形例は、光路折曲体が、その屈折率よりも低い屈折率を有する媒質中に位置し、この光路折曲体が入射した放射を内部全反射させる少なくとも2個の面を有し、前記放射が、前記光路折曲体の共面光路を伝播する場合前記2個の面の各面で少なくとも1回反射することを特徴とする。

【0032】本発明による光学装置は、入射窓及び出射窓に光学プリズムを配置し、このプリズムの放射ビームが入射し及び出射する面が、前記放射ビームの主光線と直交することを特徴とする。光学プリズムを配置することにより、放射ビームが光路折り曲げ体に入射し及び出射する場合に生ずる不希望な反射を防止することができる。

【0033】本発明による光学装置の別の実施例は、前記反射面のうちの一方の面に第4の窓を形成し、この第4の窓にレトロ方向性素子を配置し、このレトロ方向性素子により前記放射を、多数回の反射を経て前記反射面まで延在する第1の光路を伝播した後、前記光路折曲体の第1の面に入射させると共に平行に反射させ、前記光路折曲体に再入射させて、前記第1の面に平行な面における多数回反射を経て少なくとも前記反射面まで延在する第2の放射光路を伝播させるように構成したことを特徴とする。入射放射ビームは光路折曲体を第1及び第2の反射面と直交する第1面内の第1の放射光路に沿って伝播し、この放射ビームは、レトロ方向性素子により光路折曲体を第1の反射面と平行な第2面内の第2の放射光路に沿って伝播する反射放射に変換される。この場合、3次元の光路折曲体を利用して放射光路が折り曲げられる。このレトロ方向性素子は、例えば光路折曲体上に配置した90°の頂角を有するプリズムとすることができる。このプリズムは、変形例として平行平面板に直

11

接結合することができる。この幾何学的光路形態は数回繰り返すことができるので、2回以上平行面を利用することができる。

【0034】フィードバック手段を回折格子で構成した本発明による光学装置の別の実施例は、回折格子が第3の窓に対して 0° とは異なる微小角を以て延在することを特徴とする。回折格子の波長分解能は入射するビームの直径によっても決定されるので、この波長分解能は、回折格子に対する放射スポットの直径が増大するようにビームを回折格子に対して一層大きな角度で入射させることにより改良することができる。

【0035】本発明による光学装置の別の実施例は、ダイオードレーザに向けて反射した放射の波長を変えるため、前記光路折曲体を、前記ダイオードレーザから放射された放射ビームに対して微小角に亘って回転可能に配置したことを特徴とする。光路折曲体及びこれに一体的に形成した波長選択素子を入射放射ビームに対して種々の方法で向きを変えることにより、所定の波長光を選択することができる。

【0036】本発明による光学装置の別の実施例は、波長選択性フィードバック手段が、周波数増大した放射に対して感応性を有する検出器と、この検出器の出力信号によって制御され波長増大した放射の量を決定する少なくとも1個のパラメータを制御する制御ユニットとを具えるアクティブ制御系によって構成する。光フィードバック手段にアクティブ制御系を付加することにより、一層大きな温度変化に対しても対応することができ或はダイオードレーザの放射波長と非線形光学媒体の許容帯域とを互いに高精度に一致させることができる。波長選択性素子の選択に応じて、制御されるパラメータに関して選択を変えることができる。

【0037】付加的なアクティブ制御系を用いる実施例は、前記パラメータを前記ダイオードレーザを流れる電流とし、前記制御ユニットが前記電流を制御することを特徴とする。変形例として、この実施例は、パラメータをダイオードレーザの温度とし、前記制御ユニットが前記温度を制御することを特徴とする。両方の実施例において、ダイオードレーザの挙動が制御され、レーザの波長は正確に補正することができる。レーザ電流又はレーザ温度を変えることにより、レーザからの出力スペクトラムは変化する。回折格子は波長を絶対的に規定すると共に、エタロンはダイオードレーザの出力スペクトラムとの組み合せにおいて波長を周期的に規定するので、この制御は、回折格子を用いる装置よりもエタロンを用いる装置において一層有効である。すなわち、回折格子を用いる装置においてはダイオードレーザの出力スペクトラムにおけるモード間距離内において微細制御するものであり、これに対してエタロンを用いる装置においては別のモードにおいて安定させることができる。

【0038】付加的なアクティブ制御系を用いる実施例

10

12

はさらに、パラメータを前記非線形光学媒体の温度とし、前記制御ユニットが前記温度を制御することを特徴とする。この実施例は、さらにパラメータを前記非線形光学媒体の屈折率とし、前記制御ユニットが前記非線形光学媒体両端間の電界の大きさを制御することを特徴とする。これらの両方の制御により非線形光学媒体の許容帯域をシフトさせることができ、回折格子を用いる装置及びエタロンを用いる装置に好適である。温度制御における光電子制御の利点は、適合速度が極めて高速であることである。

【0039】本発明による光学装置の別の実施例は、ダイオードレーザをセルフバルシング型ダイオードレーザとしたことを特徴とする。このような用途に対していかなるバルシング型ダイオードレーザも好適である。セルフバルシングダイオードレーザは、英国特許出願GB2

221094号から既知である。

【0040】本発明による光学装置の実施例は、非線形光学媒体が、非線形光学材料から成る導波路を構成することを特徴とする。本発明の別の実施例は、非線形光学媒体が非線形光学結晶体を有することを特徴とする。これら2個の実施例間の選択は、光学装置に課せられる要件及びコストによっても決定される。非線形光学結晶を用いる利点は、光を結合させる構成が一層簡単になること並びに光導波路よりも機械的に安定なことである。一方、光導波路を用いる場合、ダイオードレーザからの放射に対して一層高い変換効率を得ることができる。

【0041】本発明による光学装置の別の実施例は、導波路をKTP、LiNbO₃、又はLiTaO₃のうちの1つの材料で構成したことを特徴とする。結晶の形態のKNbO₃及びKLiNbO₃は周波数を増大させる非線形光学材料として極めて好適である。

【0042】本発明は、放射源ユニットと、この放射源ユニットから放出された放射を情報面に走査スポットとして集束させる光学系と、情報面からの放射を電気信号に変換する放射感知検出系とを具える情報を光学的に走査する装置にも関する。記録媒体に情報を書き込み並びに書込んだ情報を読み取るのに好適な装置であり、情報面からの放射を電気信号に変換する放射感知系を具える走査装置は、前記放射源ユニットを前述した光学装置で構成したことを特徴とする。放射源ユニットから放出されたビームの強度を書き込むべき情報に応じて切り替える強度切換スイッチを具える記録媒体に情報を書き込むのに好適な装置は、放射源ユニットを上述した光学装置とし、強度スイッチを以下のパラメータのうちの少なくとも一つのパラメータを設定する手段により構成する。

- ・ダイオードバルスの繰り返し周波数
- ・ダイオードレーザに戻る放射バルスの光路長
- ・ダイオードレーザに戻る放射バルスのエネルギー
- ・非線形光学媒体の許容帯域

50 以下、図面に基き本発明を詳細に説明する。

【0043】

【実施例】図面を通して対応する部材には同一の符合を付して説明する。図1は光記録媒体3の情報面を光学的に走査する装置を線図的に示す。ここで、走査は、記録媒体の書込中の走査及び読み取中の走査を意味するものと理解されるべきである。記録媒体3は半径方向における断面として部分的に図示され、この記録媒体3は透明基板5と反射性情報層7とで構成される。情報層7は、その周囲領域から光学的に区別される多数の情報区域(図示せず)を有する。情報区域は、例えば螺旋状トラックを構成する多数の同心状トラック9に形成する。これらトラック9は走査スポット11により走査する。このため、本装置は、放射ビーム15を放出する放射源ユニット13と、放射ビーム15を記録媒体13上に走査スポット11として集束させる光学系17と、記録媒体13で反射した反射放射21を電気信号に変換する検出系19とを有する光学装置2を具える。放射源12から発生し放射源ユニット13から放出されたビーム15は、対物レンズ系16により情報面において読み取スポット11として集束され、この情報面によりビーム15が反射される。尚、対物レンズ系16は単一のレンズとして図示する。記録媒体3がモータ25によって駆動される軸23によって回転すると、情報トラックが走査される。記録媒体3及び光学装置2を矢印27で示す方向に相対的に移動させることにより、情報面全体を走査することができる。

【0044】走査中反射ビーム21は、情報区域列に記録されている情報に従って強度変調される。反射ビーム21を投射ビーム15から分離するため、光学系17に例えばハーフミラー(図示せず)を設けることができ、このハーフミラーにより変調された反射ビーム21の一部を放射感知検出系19に向けて反射させる。一方、図1に示すように、偏光感知ビームスプリッタ28と入／4板30との組み合せも用いることができる。この場合、投射ビーム15は、ビームスプリッタ28を完全に透過する偏光方向を有する。記録媒体3に向かう光路において、放射ビーム15は入／4板30を1回通過し、記録媒体で反射した後入／4板30を再び通過するので、反射ビーム21の偏光方向は、ビームスプリッタ28に再び入射する際90°回転している。この結果、反射ビーム21は検出系19に向けて完全に反射する。この読み取装置の詳細な構成については、1981年及び1982年に発行した雑誌“フィリップス テクニシェ テッドシェリフトNo.9に記載された文献”コンパクトディスク デジタル オーディオ(Compact Disk Digital Audio)を参考にすることができる。

【0045】この読み取装置を小型にするため、放射源12としてダイオードレーザを選択する。さらに、光記録媒体の情報密度を相当な程度に亘って増大させるため、この読み取装置では微小な走査スポットを必要とする。通常

のダイオードレーザの放射の周波数を増倍することにより、すなわち放射の波長を半分にすることにより、走査スポットを一層小さくすることができる。周波数増倍はダイオードレーザからの放射を非線形媒体を通過させることにより行なうことができる。非線形光学媒体の特性因子の1つとして許容波長域があげられ、すなわち、非線形光学媒体が入射する放射を周波数増倍する波長帯域である。一方、許容波長帯域の位置は強く温度に依存する。所定の温度において、非線形光学媒体を構成する結晶によって周波数増倍に寄与する波長が定められる。

【0046】他方において、ダイオードレーザは、その波長が強く温度に依存する欠点がある。さらに、ダイオードレーザは、光学系での反射に起因して活性層へ再入射したレーザ光に対して極めて敏感である。従って、レーザの出力スペクトラム及びレーザビームの強度は相当影響を受けるおそれがある。十分に周波数増倍された放射を発生させるため、レーザ光の波長及び非線形光学媒体の許容波長帯域を互いに整合させ維持する必要がある。これは、ダイオードレーザ及び非線形光学媒体を温度に関して極めて高精度に安定させることにより達成される。しかし、この方法は比較的困難であり又は高価な方法である。本発明によれば、この目的は、バルスダイオードレーザをフィードバック手段との組み合せにおいて使用することにより相当簡単に達成することができる。この方法によれば、ダイオードレーザからの放射は、非線形光学媒体の許容波長域内の波長光に確実に設定されることができる。

【0047】所望のフィードバックは種々の方法により実現することができる。第1の取り得る方法は、図2及び図3に示す光-電子方法である。この方法では、バルスダイオードレーザのスペクトラムが種々のモードで構成されること並びに異なる波長光で放射され、これら波長光の少なくとも1つの波長光を非線形光学媒体の許容波長域内に必ず維持させるか又は2個の波長光が許容波長域内の平均波長を有することを利用する。従って、検出可能な量の周波数増倍された放射が発生し、相対的に大きな温度変化においても周波数増倍された放射を用いてダイオードレーザからの波長光をフィードバックを介して最適なものとすることができます。

【0048】図2に示す放射源ユニット13において、ダイオードレーザ12から発生した放射ビーム15は例えば2個レンズから成る第1のレンズ系29により非線形光学媒体31上に集束させ、この非線形光学媒体において放射の周波数を増倍させる。媒体31から出射した放射33は、例えば単一のレンズ素子を有する第2のレンズ系35により検出器39上に集束させる。この検出器39は増倍した周波数の放射に対して感応性を有している。この検出器39はアクティブ制御系37の一部を構成し、この制御系はさらに比較器41及び制御ユニット43を有する。周波数増倍した放射の一部は検出器3

15

9により電気信号 S_9 に変換する。この信号は、比較器41において、周波数増倍された放射の所望量を表わす基準信号 S_{ref} と比較する。信号 S_9 と S_{ref} との間の差を制御信号に変換し、この制御信号を用いて制御ユニット43を制御する。周波数増倍した放射の強度の目安となる検出器信号 S_8 に關し、ダイオードレーザ12から発生した放射の波長をダイオードレーザの調整可能なパラメータのうちの1つのパラメータを変化させることにより設定することができる。このパラメータに基き周波数増倍した放射の量を制御することができるので、制御ユニットは別の条件に設定する。調整可能なパラメータは、例えばレーザ電流及びレーザ温度とする。すなわち、制御ユニット43はレーザ電流又はダイオードレーザの温度を設定するように構成することができる。これら2個の変数間の選択は図面中I/Tで表示する。レーザの波長は温度に応じて変化するので、周波数増倍した放射の最大パワーを発生する波長をダイオードレーザの温度を変化させることにより高精度に設定することができる。

【0049】図3は光電子フィードバック手段の他の実施例を示し、本例では制御ユニット43により非線形光学媒体を制御する。この制御は例えば温度制御とすることができる。非線形光学媒体の温度を変化させることにより、非線形光学媒体の許容帯域を、ダイオードレーザの波長帯域と最大のオーバラップが生ずるようにシフトさせることができる。他の光電子フィードバック手段では非線形光学媒体の両端に電極を設ける。両電極間に検出信号 S_9 に応じた電圧を印加し、従って非線形光学媒体の両端間に電界を印加することにより、この光学媒体の屈折率を変化させてその許容帯域をシフトさせることができる。

【0050】光電子フィードバック手段は動的に実現することもできる。この目的のために、周波数増大放射の強度を小振幅変調し、この放射を位相同期検波し、即ち被変調信号 S_9 の位相を、この変調を与えた制御信号の位相と比較する。この方法によれば周波数増大放射の強度の小変化を予め検出し補正することができる。周波数増大放射の強度は、例えばダイオードレーザを流れる電流のDC成分を変化させることにより、又は非線形媒体の許容帯域を電子光学的に変化させることにより変調することができる。光電子フィードバック手段37により周波数増大放射の最大量を制御するのにこの放射の小部分のみが使用されるようにして残りの部分を図1に示す走査装置のような光学装置に有用な放射として使用し得るようになる必要がある。有用放射RUは非線形光学素子31と検出器39との間の任意の位置に配置される、例えば部分透明ミラー44のような部分透明素子により図2及び図3の装置から分割することができる。

【0051】ダイオードレーザの射出面を非線形光学素子上に結像し、この素子から出る放射を検出器上に集中

16

させるレンズ系29および35の代りに、光ファイバ又はブレーナ導波路を用いることもできる。周波数増大放射の強度の著しい増大は、光電子フィードバックの代りに波長選択光学フィードバック手段を実現することにより得ることもできる。

【0052】図4はこれを実現した装置の実施例を示す。この装置は、パルスダイオードレーザは非線形光学媒体31の許容帯域内の波長の選択フィードバックにより单モードレーザとして動作する事実を利用する。このように波長が前記許容帯域内に維持されるため、周波数増大放射の量が著しく増大し、所定の環境の下で図2及び図3に示す装置におけるこの放射の量の例えれば15倍になる。

【0053】波長選択フィードバックの効果を図5a及び5bに示す。図5aは波長選択フィードバックを具えたダイオードレーザのスペクトルを示し、図5bはこのフィードバックを具えないダイオードレーザのスペクトルを示す。これら図には波長入を横軸に、強度を縦軸にプロットしてある。この波長選択光学フィードバックが所望の最大の効果を発生すると共に、周波数増大放射を用いる装置内の種々の光学素子でのダイオードレーザ放射の反射による不所望なフィードバックの影響を最小にするためには、図4内の波長選択フィードバック手段37により反射された放射パルスがダイオードレーザ放射に最大の影響を与えるエネルギー及びダイオードレーザへの到達瞬時を有する必要がある。反射レーザパルスLP_iが満足すべきこの強度条件及び遅延時間条件は図6から導くことができる。この図にはレーザパルス列の複数個のパルスLP_iを示してある(i=1, 2, ..., N)。レーザパルスのパルスの持続時間はP、パルス周期はTであるものとする。反射パルスLP_iがダイオードレーザにより発生されるLP_iに影響を与える得るためには、反射パルスの遅延時間R_iは所定の範囲内なければならない。更に、これにより生ずる効果はレーザ発生パルスの放射エネルギーに対する反射パルスの放射エネルギーに大きく依存する。

【0054】この遅延時間範囲の上及び下限界値は、
【数3】 $R_i = T$

$$R_i = T - P - \Delta P$$

で与えられる。原理的には、反射レーザパルスLP_{i+1}が次のレーザパルスLP_iではなくその次のパルスLP_{i+1}又はその後のパルスLP_{i+2}の一つを駆動するようにすることもでき、上述の上及び下限界値は

$$【数4】 R_i = nT, \quad n = 1, 2, \dots$$

$$R_i = nT - P - \Delta P, \quad n = 1, 2, \dots$$

に一般化することができる。

【0055】放射エネルギー条件は、i番パルスのビルドアップ時間内の瞬時であって反射パルスがレーザに入射する瞬時

【外1】

17
 $t_{\epsilon, i}$

において、

【数5】 $E(LP_r) > E(LP_i)$

の式で表わせる。このことは、反射パルスが瞬時〔外1〕においてダイオードレーザに影響を与えるために、反射パルスの放射エネルギーがダイオードレーザが発生すべき次のパルスに対しこの瞬時に生起する放射エネルギーより大きくななければならないことを意味する。

【0056】 上限値 $R_s = n \cdot T$ を満足する場合には、反射放射パルスの後縁が発生すべき次のパルスが完全に生起される瞬時と一致するため、反射パルスは次のパルスの発生に何の影響も与えない。下限値 $R_t = nT - P - \Delta P$ を満足する場合には、反射パルスの前縁が新しいパルスの生起がまだ始まっていない瞬時と一致するためこの反射パルスはそのパルスの発生に影響を与える。前記限界値は絶対的なものではない。場合により、これら限界値を僅かに越えてもある程度の効果が生ずる。

【0057】 他方、遅延時間、即ち放射パルス LP_s がダイオードレーザの射出面から出て再びダイオードレーザに戻ってくるまでに要する時間は、ダイオードレーザ12とフィードバック素子37との間の光路の距離を d 、この光路内の放射ビームの伝搬速度を c とすると、 $2d/c$ で与えられる。これを上限及び下限条件と組み合わせると、次の遅延条件：

【数6】

$$nT - P - \Delta P < \frac{2d}{c} < nT$$

が得られるため、距離 d は

【数7】

$$d = \frac{c}{2} \cdot nT - \frac{c}{2} \cdot \epsilon (P + \Delta P)$$

で与えられる。ここで、 ϵ は反射パルスのエネルギーにより決まる、0より大きく1より小さい数値である。反射パルスのエネルギーが比較的大きい場合には、反射パルスはビルトアップ時間内の遅い瞬時に到達してもよいため、 ϵ は1より零に近い値にすることができる。反射パルスのエネルギーが小さい場合には、このパルスはビルトアップ時間の早い瞬時に到達する必要があるため、 ϵ は零よりも1に近い値にする必要がある。これがため ϵ は反射パルスエネルギーに反比例する。

【0058】 上述の如き波長選択光学フィードバックは適当な反射係数を有する少くとも部分反射性の反射素子45をダイオードレーザ12から距離 d の位置に配置することにより実現することができる。放射を反射し得る他の全ての素子を d に関する上述の一般条件を満足しない距離に配置することにより、ダイオードレーザの動作、従ってレーザビームのパラメータ及び質が実際に前記の反射素子45を経るフィードバックのみにより決まり、一定に維持されることが達成される。しかし、波長選択素子47の位置は、上述した遅延時間条件を反射素

子45により満足させる限り、必須の要件ではない。実際にフィードバック手段37は種々の方法で実施することができる。

【0059】 第1の可能な例を図4に示し、本例では波長選択素子47は格子である。この格子は入射レーザ放射を反射素子45、例えば鏡に向け反射する。この鏡で反射された放射はこの格子によりダイオードレーザ12に向け反射される。この格子が放射を反射する方向は放射の波長と、格子の周期、即ち2つの等格子ストリップ間の間隔とにより決まる。この周期を、非線形光学媒体の許容帯域内の波長を有する放射のみがダイオードレーザに入射するように選択することができる。ダイオードレーザが約850nm(赤色光)の波長の放射を発生し、非線形光学媒体がKPT(リン酸チタンカルシウム)導波路であってダイオードレーザ光の周波数を2倍にする実施例装置では、格子は1.67μmの周期、即ち600本/mmの格子ストリップを有するものとする。平均レーザパワーは1:3.5の発生パルス幅対パルス繰返し周波数比で20mW程度であり、周波数2倍光(青色光)は約150μWである。温度安定化を行なう必要はない。

【0060】 種々のレーザモードは図5aから解るように互に近接し、例えば0.3nm間隔であるため、格子は高い分散能を有するものとして種々の波長の放射部分を空間的に良好に分離させる必要がある。分散能は入射放射ビームによりカバーされる格子周期の数に依存する。二次以上で回折された放射をフィードバックに用いる場合には、所望の分散能を有する格子は大きな格子周期を有するものとし得るため格子を一層簡単に製造することができる。格子は機械的方法(スクレーフィング)又はリソグラフィ方法により既知のように製造することができる。このような格子は、2つの平面波を写真板上で干渉させ、現像しエッティングすることにより得ることもできる。この場合ホログラフィック格子が得られる。波面を調整することにより所定の程度の集束、発散又は補正のような光学特性をホログラフィック格子に与えることができる。上述した方法の一つで格子構造が設けられた支持板を複製処理の母材として多数の安定な複製物を得ることができる。

【0061】 格子は図7に示すようなブレーナ格子50とすることもできる。この図のものでは、光導波層52を、例えばガラス、透明樹脂材料、半導体材料又はニオブ酸リチウムのような結晶の基板51上に設ける。この層52は基板の屈折率より高い屈折率を有する透明材料で構成して左側から入射するビームのエネルギーの大部分がこの層内に閉じ込められるようにする。層52に、蛇行ストリップ領域53と蛇行ストリップ中間領域54とをX方向に交互に具える二次元周期構造を設ける。領域53は層52の中間領域54より高いレベル又は低いレベルに位置させることができる。或は又、領域53及

び54は同一の高さに位置させるが異なる屈折率を有するようにすることもできる。周期構造53、54は層52に結合された放射を、この放射の波長により決まる方向に反射し、これを図7に矢印b₁、b₂、b₃で示してある。ブレーナ格子50の構造及び動作についての詳細は、このような格子を光導波路通信システムに使用する技術を開示する米国特許第4746136号を参照することができる。

【0062】ブレーナ格子は図4に示す装置の格子47の代りとして用いることができる。しかし、この装置は図8に示すように格子50の反射特性を利用することにより簡単化することができる。この場合、レンズ系35'は非線形素子からの放射を光導波層52に集束するようとする必要がある。ブレーナ格子素子50は、その前面56が入射ビームの主光線に対し小角度をなすよう配置して所望の波長を有するビーム成分b'の方向がダイオードレーザビームの方向に対し正確に反対方向になるようになることができる。この装置のもっと簡単な実施例では図9に示すように格子を非線形光学媒体31'内に集積する。上述の説明から、この図のこれ以上の説明は不要であるので省略する。

【0063】本発明装置では、図10に示すように単調に周期が変化する直線ストリップ領域を有する格子を用いることができる。この図には、図を明瞭にするために周期P₁、P₂及びP₃を有する3つの格子部分のみを示すと共に周期の差を誇張してある。実際には、この格子はもっと多数の格子部分を有すると共にもっと多数の異なる周期を有し、これら周期の差はもっと小さい。放射ビームbの伝搬方向に並んで位置する各格子部分はダイオードレーザの関連部分の特定波長の放射を反射する。レーザバルス繰返し周波数の特定値を調整することにより、非線形光学素子の許容帯域内の波長を有するダイオードレーザの放射を反射する格子部分から発する放射バルスが前記遅延時間条件を満足するようになることができる。

【0064】一つ以上のレンズ系を一つ以上の光ファイバと置き替えた装置においては、格子をこのようなファイバ内に配置することができる。その実施例を図11に示す。この図において、60はダイオードレーザ12及びダイオードレーザ出力を光ファイバ71の入射面上に結像するレンズ系62を内蔵する光ファイバ通信システム用に開発された専用外囲器を示す。波長選択ファイバ素子70は英国特許出願第2161648号に記載されているように実現することができる。この素子ではファイバ71の一部分を例えばガラスのブロック73内の湾曲通孔内に設ける。ファイバのこの部分の上部をコア72まで削り取り、その上に格子74を設ける。格子とのファイバ部分との残存空間を適当な屈折率の液体で満す。ファイバコアを伝搬する放射の一部分が液体の方へ散乱され、格子に到達し、これにより偏向された後にフ

アイバコアに入射する。格子の周期は、格子との相互作用後に直接通過光と干渉する放射の波長を決定する。素子70についてのこれ以上の詳細は、ダイオードレーザを波長選択フィードバックにより安定化するためのこのような素子について記載しているドイツ国特許出願第3254754号を参照することができる。集積格子付き光ファイバはファイバのクラッド層に周期的構造をエッチングすることにより得ることもできる。

【0065】図11の実施例では、波長選択素子をダイオードレーザと非線形光学媒体31との間に配置する。図8に示す装置の素子50をこの位置に配置することもできる。

【0066】図12は、波長選択ファイバ素子70を非線形光学素子31の背後に配置すると共に光ファイバ75を素子31とレーザとの間に配置した実施例を示す。素子70内の格子74はファイバ71内を伝搬する放射の一部分をダイオードレーザに向け反射する反射格子とするのが好ましい。この格子を、この格子により反射される放射バルスが上述した遅延時間条件を満足するような位置に配置すれば、反射器45を省略することができる。

【0067】反射格子を有する波長選択ファイバ素子70が設けられた放射源ユニット13の他の実施例を図13に示す。この図に示す実施例は反射器45及びファイバ75を見えない。本例は周波数増大放射がファイバ71を通過しないため、このファイバをダイオードレーザ放射に対し最適なものとすることができる利点を有する。この場合、周波数増大放射は非線形光学媒体31から直接取り出すことができる。

【0068】これは図9に示す装置にも言える。図11及び12に示す装置では、反射器45を周波数増大放射を通すがレーザ放射は反射するダイクロイックミラーとして実現することにより周波数増大放射を装置から取り出すことができる。図8に示す装置では、周波数増大放射を反射しレーザ放射を通してダイクロイックミラー58を非線形光学媒体31とブレーナ格子50との間に配置することにより周波数増大放射を取り出すことができる。図4の装置では、反射器45を周波数増大放射を通してダイクロイックミラーとして実施することができる。反射格子47を反射器45の位置に配置してこの反射器を省略する場合には、周波数増大放射を取り出すダイクロイックミラーをこの格子と非線形光学素子との間に配置する必要がある。

【0069】ダイオードレーザへの反射及び波長選択の所要の機能は反射格子のみならず、図14に示すようなファブリペロエタロンにより満足させることもできる。このようなエタロンは、例えば空気又はガラスのような媒体を挟む2つの部分反射性の平坦表面又は湾曲表面を有する。両表面上で繰り返し反射が生ずるため、種々のビーム波長部分間で強め合う干渉及び弱め合う干渉が生

する。両表面間の距離w及び媒体の屈折率を適切に選択することにより、所定の波長を有する放射を反射させることができる。この場合この波長は非線形光学媒体31の許容帯域内にすること勿論である。

【0070】エタロンは図14に示すように反射式に用いることができのみならず、図15に示すように透過式に用いることもでき、これについてはこれ以上の説明は不要であるものと思料する。透過形エタロンを図14に示す装置に用いることもできる。この場合には反射器をこのエタロンの背後の距離dの位置に配置する必要がある。この反射器は周波数2倍放射を完全に通すダイクロイックミラーとすることができます。エタロンは所定の長さの光ファイバから成るものとすることもできる。ダイオードレーザへ戻る反射放射パルスによってこのレーザの放射波長を決めるためには、前述したようにこの放射パルスのエネルギーをダイオードレーザへの復帰瞬時に生起される放射エネルギーより大きくする必要がある。反射放射パルスのエネルギーは反射素子45又は波長選択及び反射の機能を併せ持つ素子(50, 31', 80)の反射係数により制御することができる。

【0071】特に、例えば光記録媒体を書込むことができ、射出面が低い反射係数を有する高出力ダイオードレーザに対しては、フィードバック素子、例えば図14及び15の素子80が重要な役割を演ずる。実際上、低い反射係数の射出面を有するダイオードレーザは高い反射係数の射出面を有するこのようなダイオードよりも、おそらくレーザ動作中の電荷キャリア密度が大きくなる結果として、短かい波長で放射することが確かめられている。いわば、ダイオードレーザの射出面の反射係数及び従って波長はフィードバック素子80の反射係数の選択により設定することができる。格子をフィードバック素子として用いるときは、この格子がダイオードレーザ波長を決定するためにこの効果は生じない。しかし、エタロンをフィードバック素子として用いる場合には、ダイオードレーザ波長をこの素子の反射係数で決めることができる。実際には、ダイオードレーザのスペクトル安定性を得るために必要とされるダイオードレーザとフィードバック素子との間の距離dはかなり長く、このことは光学装置の所望のコンパクト化に対し欠点になる。例えば1nsのパルス周期Pに対し約150mmの距離dが必要とされる。

【0072】本発明の他の特徴によれば、ダイオードレーザ12とフィードバック素子27との間の光路を折り返す構成にすることができる。この目的のために、装置に例えば2つの対向反射器を設け、両反射器の間で放射ビームを多数回反射させる。しかし、安定性のために、一つの光透明材料の本体、例えばガラス本体を用い、その2つの対向面を反射性として本体に入射する放射ビームが多数回反射されるようにするのが好ましい。この場

合その公差は本体の製造公差により決まる。光路折返し本体はガラスのみならず、透明合成材料のような十分高い屈折率を有する他の光透明材料で造ることもできる。

【0073】このような光路折返し本体120には種々の実施例がある。図21aはその第1の実施例を示し、本例は平行平面板121を具え、互に対向して位置するその第1表面123及び第2表面125に高い反射率を有する反射層127が設けられている。第1表面123には入射窓129があり、第2表面には射出窓131がある。ダイオードレーザ12により発生された放射ビーム15は例えばコリメータレンズ132を経て入射窓129から平行平面板121内に入射し、このビームは面123及び125に小角度で入射するためこれら面で多面反射される。次いでビームは一方の面の第3の窓128内又はその背後に配置された波長選択反射素子27に到達する。次いでビームは板121内を逆方向に進行して窓129を経てダイオードレーザの方へ出していく。射出窓131はこの光学装置から周波数増大放射を取り出すのに使用され、この目的のためにビーム分離ミラーとして形成する。窓131には、基本波長に対し高い反射率を有し高調波に対し低い反射率を有する層134を設けるのが好ましく、第1表面123及び第2表面125上の層127のこの層とすることができる。この場合、第2表面125上の層127及び134は一つの連続層とすることができる。

【0074】波長選択フィードバック素子27は別個の素子とすることができる。しかし、この素子は平行平面板121と一体化するのが好ましく、この素子を窓128の位置に配置する。この素子は例えばプリズムとすることができます。このプリズムは窓128上に配置することができ、或は窓128に形成したへこみで形成することができる。しかし、図21aに示すような格子27が比較的高い波長分解能を有するためには好ましい。格子はガラス本体に種々の方法で一体化することができる。例えば、格子は光路折返しガラス本体に直接エッチングすることができ、或は光路折返し本体上に別個の素子として配置することができる。更に、薄い合成材料層を折返し本体上に設け、次いでこの層に複製技術により格子を設けることができる。光路折返しのために、ガラスが1.8の屈折率を有する場合、空気中で例えば130mmの長さを有する直径3mmの放射ビーム用光路を、8mmの厚さD及び13mmの長さLを有するガラス板内に収めることができる。

【0075】光路折返しは二次元的に実現する代りに三次元的に実現することもできる。この目的のためにはレトロ指向素子133を第1光路135の終端にあるガラス本体上の第4の窓136上に配置することができる。放射ビームはガラス本体の反射面に垂直な第1平面内に位置する第1光路135に沿って進行した後素子133上で最初に団面に垂直な方向に反射され、次いで入射方

向に平行な方向に反射されて平行平面板121内に再び入り、前記第1平面に平行な第2平面内に位置する第2光路137に沿って進行する。このように折返し光路135, 137が、及びもしあれば他の光路も積み重ねられるため、短かい長さを有する折返し本体を用いてスペクトル安定化に必要とされる全長dを有する光路を実現することができる。この実施例を図22に示す。図22aはその平面図、図22bはその側面図である。レトロ指向素子133の極めて好適な例は90°の頂角を有するプリズムである。このプリズムの頂稜線をビームの主光線に垂直にする。このプリズムは頂稜線に対向する底面139が表面125に平行になるように研磨して反射損が生じないようにする。

【0076】本発明の他の実施例では折返し本体120は図23に示すような矩形又は方形の断面を有する。本例では、表面145, 146, 148, 149を入射ビームに対し、各表面でビームの内部全反射が生ずるように向ける。図23の実施例では、ビームが窓153内又はその背後に配置されたフィードバック素子27に到達する前に各表面で2回全反射するようになっている。ビームはフィードバック素子27により反射された後に同一の光路を逆方向に進行し、表面145を経て折返し本体からダイオードレーザに向かっていく。周波数増大放射は表面149を経て光学装置から出る。この周波数増大放射を取り出す位置にはダイオードレーザからの放射に対し高い反射率を有し周波数増大放射に対し透明である波長選択反射層151を設ける。更に、プリズム147を前記位置に設け、その表面150をビームの主光線に対し垂直にする。垂直表面152を有する同様のプリズム143を表面145上のダイオードレーザビーム入射位置に設ける。両プリズムは例えばガラス本体と同一の材料で造ることができる。平行平面板を用いる上述の実施例と同様に、フィードバック素子27はガラス本体の窓153内又はその背後に配置されるプリズム又はエタロンとすることができます。

【0077】平行平面板に対し図22a及び22bに示すように、図23の折返し本体もそのガラス本体内に、レトロ指向素子により積み重ねられた平行平面内の複数の折返し光路を含むようにして三次元の光路折返しを実現することができる。折返し本体の両実施例121, 122は、入射窓及び射出窓が同一表面に位置すると共に一致するように実現することもできる。この場合には周波数2倍放射をダイオードレーザ放射から、周波数2倍化媒体と折返し本体との間の追加の波長選択素子、例えば波長選択ビームスプリッタにより分離すると共に装置から取り出す必要がある。

【0078】フィードバック素子として格子を具える折返し本体の前記の各実施例では、平行平面板の形態の折返し本体に対し図21b及び21cに示すように、表面125又は149に対し鋭角に配置することができる。実

際上、波長分解能は放射ビーム内に入る格子周期の数及び従ってこの放射ビームの直径に依存する。格子をガラス本体の表面に対し傾けることにより、格子の一層の大きな表面が同一放射ビームによりカバーされ、従って一層の高い波長分解能を達成することができる。フィードバック素子として格子、エタロン又はプリズムを具えるガラス本体の各実施例ではガラス本体を光学装置1内に入射ビーム15に対し回転するよう配置して反射すべき波長を変化させることができるようにすることができる。

【0079】波長選択フィードバック素子を具える上述の装置は周波数増大放射を発生する既知の装置より温度変化に対し著しく不感応である。本発明装置の安定性は非線形光学媒体の温度依存度により主として決まる。この変化は、この媒体がKTPのセグメント導波路で構成される場合、0.05nm/°C程度である。この場合、0.3nmの許容帯域幅の非線形光学媒体に対し、数度(°C)の温度変化が許容される。更に、波長選択フィードバック素子の位置に関するかなり大きな公差が許容される。350psecのパルス持続時間及び900MHzのパルス繰り返し周波数(約1110psecのパルス周期)を有する放射パルスを使用する場合、100psecの遅延時間変化に対応する10~20mm程度のフィードバック素子の変位が装置の動作に影響を及ぼし始めるだけである。

【0080】所望の許容帯域幅が小さくなると、装置の温度依存性が増大する。この点を利用する本発明装置の他の実施例では光学フィードバックに加えて光電子フィードバックを設ける。このような実施例を図16に示す。周波数増大放射の一部分を検出器39で検出し、その出力信号を比較器41で基準信号S_{ref}と比較し、この比較器から非線形光学媒体31の温度制御ユニット43に制御信号S_cを供給する。フィードバック素子80によりレーザ放射の波長は一定に維持される。媒体31の許容帯域が変化する大きな温度変化時に、光電子フィードバック路39, 41, 43により許容帯域が補正されてレーザ波長がこの許容帯域内になる。

【0081】フィードバック素子としてエタロンを具える図16の左側部分(図15に対応)は単なる一例である。図4, 8, 9, 11, 12及び13に示すように格子を用いる場合にも波長選択光学フィードバックと光電子フィードバックとを組み合わせることができる。

【0082】エタロンをフィードバック素子として用いる場合には、非線形光学媒体の代りにダイオードレーザ12を、このレーザの電流又は温度を変化させることにより制御することができる。図17はこの組合せの一実施例を示し、これは図2と図16の装置を組み合わせて成り、これ以上の説明は不要であるものと思料する。この組合せはフィードバック素子がエタロンである場合のみ意義がある。その理由は、この場合には波長がエタ

ロンの2つの面間の距離とダイオードレーザの出力スペクトルとの共同作用により周期的に決まるためである。フィードバック素子として格子を用いる場合には、レーザ波長は固定され、図17のフィードバックを用いることは少くとも大きな温度変化時の補正に対しては意味がない。しかし、格子を用いる場合には、ダイオードレーザ電流又は温度を検出した周波数2倍放射に関し補正してダイオードレーザ波長と非線形光学媒体の許容帯域幅とを例えればダイオードレーザの出力スペクトルのモード間隔内に精密に調整することができる。更に、格子を検出周波数2倍放射に対応する信号が供給される圧電素子上に配置することもできる。この場合、格子の固定波長を格子角度のフィードバック制御により補正することができる。

【0083】パルスレーザビームは、ダイオードレーザを周期的に変化する電流で駆動することにより得ることができます。この駆動電流はパルス電流とし得るが、例えれば正弦波電流とすることもできる。パルスビームを出力する構造を有するダイオードレーザを用いることもできる。一般にセルフパルスレーザと称されているこのようなレーザは例えれば英国特許出願第2221094号から既知である。

【0084】周波数増大、例えれば周波数2倍放射RUを、例えれば光記録担体の書き込みに用いる場合には、この放射の強度を書込むべき情報を従って、記録担体の放射感應層に変化を生ぜしめる最大レベルと変化を生じさせない最小レベルとの間で高速にスイッチし得る必要がある。本発明はダイオードレーザを流れる電流を既知の方法と異なる方法でスイッチングし得る手段を提供する。第1の可能な手段は電流の繰返し周波数、従ってレーザパルスの繰返し周波数を、前記遅延時間を満足する値とこの条件を満足しない値との間でスイッチする。この手段を図18に示す。この図に示す装置は図14に示すものと同一の原理に基づくものであり、追加の素子として電子回路90を具えている。この回路は書込むべき供給情報信号S₁、例えればオーディオ又はビデオ信号を既知のようにディジタル化し、符合化するものである。この回路90の出力信号S₂はダイオードレーザ12の制御回路91に供給され、この回路91は電流源92と、その繰返し周波数を信号S₂の“0”及び“1”的系列に一致して2つの値の間でスイッチングするサブ回路とを具えている。

【0085】図19は周波数増大放射の強度を最大値と最小値との間でスイッチングする第2の可能な手段を示す。この図に示す装置は図8に示すものと同一の原理に基づくものであり、書込むべき信号S₁をこの信号S₁に一致して2つのレベル間でスイッチされた電圧に変換して出力端子96、97間に供給する電子回路95を具えている。この電圧は電子光学素子の電極101、102に供給され、その屈折率が2つの値の間でスイッチさ

れる。これによりダイオードレーザ12から波長選択反射器までの放射パルスの光路長を遅延時間条件を満足する値及び従って増大周波数を有する放射が発生される値と、これが生じない値との間でスイッチすることができる。

【0086】周波数増大放射の強度をスイッチングする第3の可能な手段はダイオードレーザへ戻る放射パルスのエネルギーを、もどり瞬時にダイオードレーザに生起するエネルギーよりもそれ大きい又は小さい第1及び第2の値の間でスイッチする。この目的のために、本例装置は高速に調整し得る反射係数を有する反射器を備える必要がある。このような反射器は固定反射係数を有する反射素子を可変透過素子と組み合わせて構成することができる。この透過素子は液晶素子と検光子とで構成することができる。図20にこれら素子を110及び114で示している。この図の装置は図14のものに基づくものであり、書込むべき信号S₁をこの信号に一致して2つのレベル間でスイッチされた電圧に変換して出力端子106及び107間に供給する電子回路105を備えている。この電圧は液晶セル110の電極111、112間に供給される。液晶セルを伝搬する放射の偏光状態がこの電圧によりスイッチされ、検光子が2つの偏光状態を2つの強度レベルに変換する。

【0087】液晶材料の代りに、他の電子光学複屈折材料を用いることもできる。複屈折素子及び検光子は、屈折率を少くとも1つのプランチ内で電子光学的にスイッチし得る好ましくはプレーナ形の干渉計と置き替えることができる。周波数増大放射の強度をスイッチングする第4の可能な手段は非線形光学媒体の屈折率を光学的に、即ちこの媒体間の電界により、2つの値の間でスイッチする。これら2つの値は、一方の値と関連する非線形光学媒体の許容帯域がレーザ波長を含み、他方の値と関連する許容帯域がこの波長を含まないように選択する。

【0088】強度をスイッチングする種々の可能な手段の全てを本発明装置の種々の実施例に用いることができ、これが本発明の種々の実施例を示す図18、19及び20で示されている。前述したように、非線形光学媒体の選択は所望の許容帯域幅に依存する。更に、この媒体は種々の形状にできる。この媒体は、その導波層が非線形光学材料から成る導波路31(図2、3、8~15、17、18、20)とすることができる。好適な材料は例えればKTP、LiNbO₃、又はLiTaO₃である。この媒体は非線形光学結晶31a(図4、16、19)とすることもできる。好適な材料は例えればKNbO₃、又はKLiNbO₃である。結晶は、導波路と比較して、入射結合が機械的に一層安定である利点を有する。しかし、導波路の方が入射結合時における損失にもかかわらずダイオードレーザの一層高い変換効率を達成し得る。

【0089】本発明の以上の説明はダイオードレーザの放射の周波数を2倍にするのが好ましい光ディスクの読み取り及び/又は書込み用光学装置に基づいています。本発明により実現される、温度に依存せず且つフィードバックに感応しない波長半減は、例えばプリンタおよびスキャナ、又は集積回路、液晶表示パネル等をフォトリソグラフィ式に製造する投写装置のような他の装置にも有利である。例えばプリンタにおいては波長半減は従来使用されている材料よりも大きい感度を有する他の放射感応材料を用いることを可能にするため、印刷に要する放射エネルギーを減少でき、或は同一の放射エネルギーで一層良好な印刷結果を達成することができる。本発明は周波数2倍又は波長半減にのみ限定されるものではなく、放射源の放射を他の倍率に増大させること又は異なる周波数を有する2つの放射源の放射を混合することにより所定の周波数の放射を得ることを実現するのに用いることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光学装置を具える情報面を光学的に走査する装置を示す線図である。

【図2】光電子フィードバックを行なう本発明による光学装置の第1実施例を示す線図である。

【図3】光電子フィードバックを行なう本発明による光学装置の第2実施例を示す線図である。

【図4】光電子フィードバックを行なう本発明による光学装置の第3実施例を示す線図である。

【図5】波長選択フィードバックを用いる光学装置及び波長選択フィードバックを用いない光学装置のダイオードスペクトラムを示すグラフである。

【図6】ダイオードレーザから放出されたパルス列を示す線図である。

【図7】本発明による光学装置に用いるのに好適な平面回折格子を示す斜視図である。

【図8】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図9】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図10】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図11】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図12】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図13】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図14】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図15】光学式フィードバックを行なう本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図16】光電式フィードバックと光学式フィードバックとを組み合せた本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図17】光電式フィードバックと光学式フィードバックとを組み合せた本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図18】周波数増大した放射の強度を切り換える本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図19】周波数増大した放射の強度を切り換える本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図20】周波数増大した放射の強度を切り換える本発明による光学装置の実施例を示す線図である。

【図21】本発明による光学装置に用いる光学的に透明な光路折曲体の実施例を示す線図的断面図である。

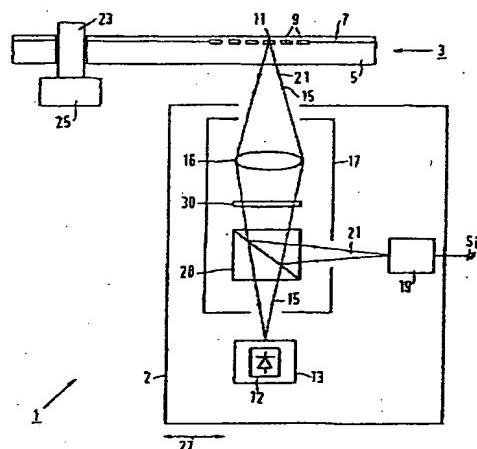
【図22】本発明による光学装置に用いる光学的に透明な光路折曲体の実施例を示す線図的断面図である。

【図23】本発明による光学装置に用いる光学的に透明な光路折曲体の実施例を示す線図的断面図である。

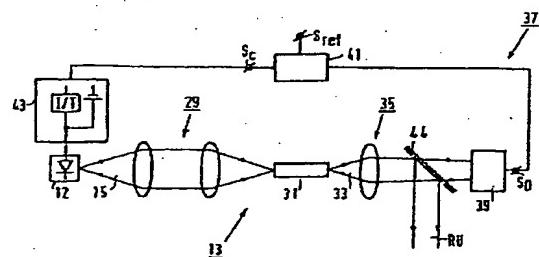
【符号の説明】

- 1 光学式走査装置
- 3 光記録媒体
- 5 透明基板
- 7 情報面
- 9 トランク
- 11 走査スポット
- 12 放射源(ダイオード)
- 13 放射源ユニット
- 17 光学系
- 19 検出系
- 29 第1のレンズ系
- 35 第2のレンズ系
- 37 アクティブ制御系
- 41 比較器
- 43 制御ユニット
- 44 部分的に透明なミラー
- 45 反射素子
- 47 格子(波長選択素子)
- 50, 50' ブレーナ格子
- 71, 75 光ファイバ
- 80 エタロン

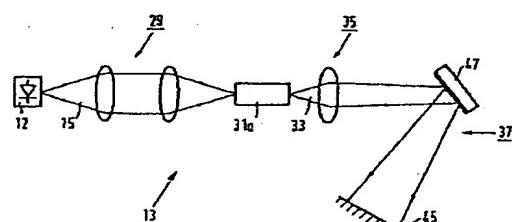
【図1】



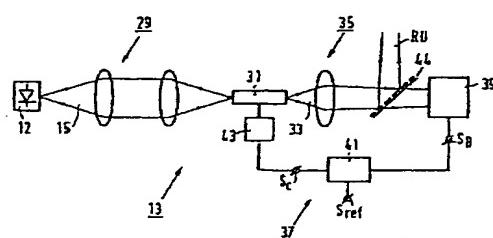
【図2】



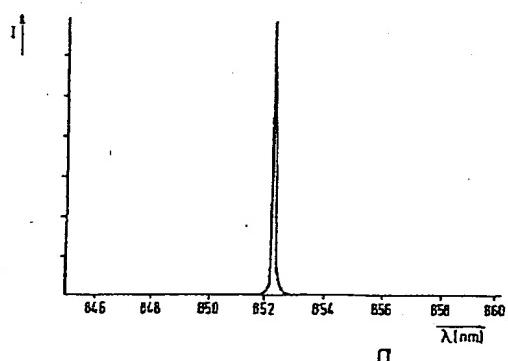
【図4】



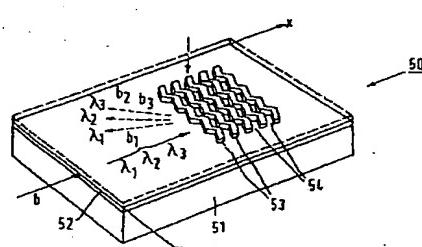
【図3】



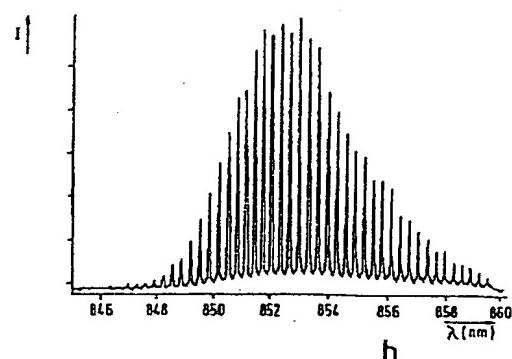
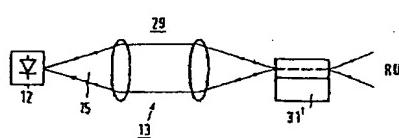
【図5】



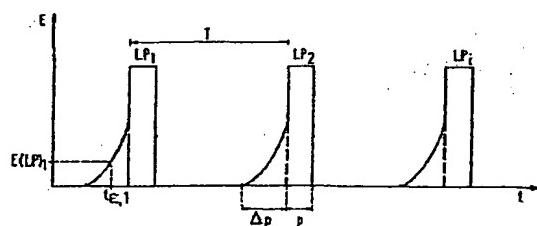
【図7】



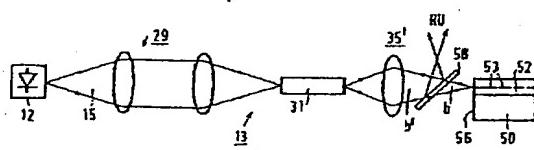
【図9】



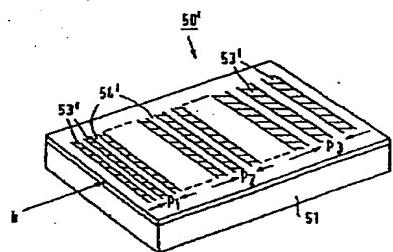
【図6】



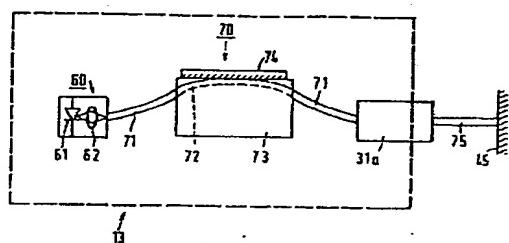
【図8】



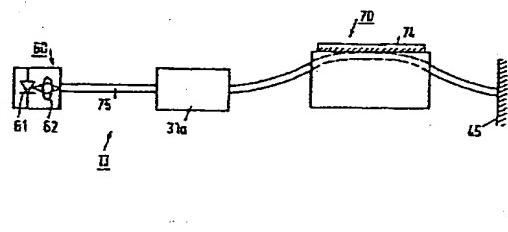
【図10】



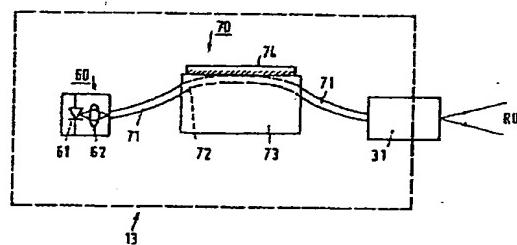
【図11】



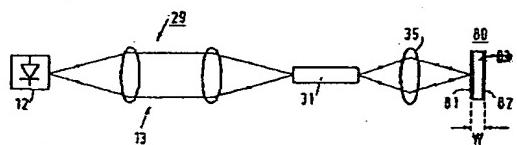
【図12】



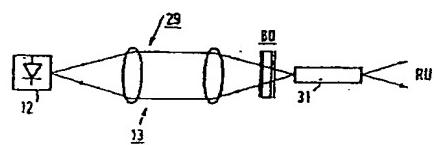
【図13】



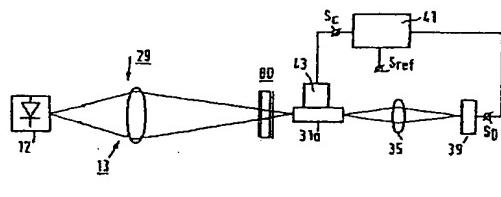
【図14】



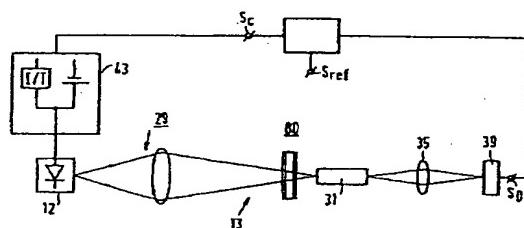
【図15】



【図16】



【図17】



【図18】

